NOTES DE COURS

P PLOUVIEZ

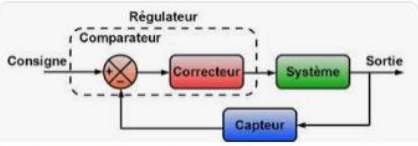
Electrostatique – Magnétostatique

Leçons 1 et 2

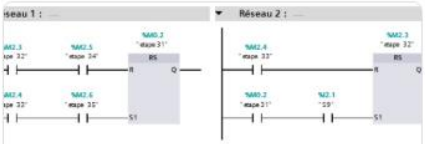
Formation à l'Habilitation Electrique des Etudiants ...
Génie électrique

L3GEME - Electrotechnique + Mécanique
Génie énergétique - Maîtrise de l'énergie

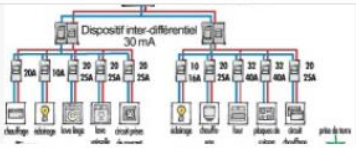
L2 SPI - Electrostatique et Magnétostatique
Licence 2 SPI



L3GE - AUTOMATIQUE : Asservissement des systèmes ...
Licence 3 Génie électrique

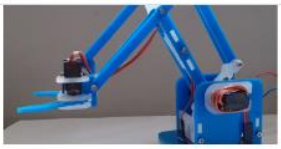


L3GE - Automatismes industriels, systèmes séquentiels
Licence 3 Génie électrique



L3GE - Distribution Basse Tension
Licence 3 Génie électrique

LProMIGE - Maintenance 2 - Mi3 : Maintenance de ...
Licence PRO MIGE



L3GE : SAé INFORMATIQUE INDUSTRIELLE
Licence 3 Génie électrique

M1EEEA - Distribution de l'énergie électrique
Master 1 - EEEA

Remarques générales :

Mes notes de cours de la Faculté des Sciences Appliquées de Béthune (FSA de Béthune) sont constituées de diaporamas que je projetai alors aux étudiants tout en apportant des compléments oraux et sur le tableau noir, bien évidemment.

Elles ne sont donc pas forcément détaillées ou expliquées comme il se doit.

Les solutions d'exercices n'y figurent pas toujours car souvent détaillées au tableau.

Elles étaient disponibles sur MOODLE pour mes étudiantes et étudiants et aussi à toute personne inscrite à la FSA (pas de clé d'accès au cours donc accès libre à toutes et à tous).

Ces diaporamas contiennent parfois des figures, illustrations, petites notes, récupérées sur le NET ou sur des vieux bouquins (gain de temps pour mes préparations) mais malheureusement je n'ai pas noté leurs diverses provenances et je m'en excuse.

Etant maintenant à la retraite, il m'a semblé utile de les regrouper sous forme pdf et de les mettre librement à disposition sur le NET pour les étudiants et autres curieux…

Ce travail peut ainsi encore servir à quelque chose…

Toute exploitation financière de ces notes de cours élaborées entre 2011 et 2026 *(remises à jour régulièrement)* est strictement interdite.

Ces notes doivent rester en accès libre à toutes et à tous et sont recopiables à souhait pour le service de tous.

P PLOUVIEZ

L2 SPI - Electrostatique et Magnétostatique

James Clerk Maxwell (13 juin 1831 à Édimbourg en Écosse - 5 novembre 1879 à Cambridge en Angleterre) est un physicien et mathématicien écossais.

OBJECTIFS PRINCIPAUX DU COURS :

- Déterminer le champ électrique et le potentiel électrique en un point M de l'espace, dû à la présence d'une ou plusieurs charges électriques dans le même milieu.

- Calculer le champ magnétique créé en un point M de l'espace, dû à un circuit électrique parcouru par un courant.

- Déterminer les forces et les phénomes physiques associés à ces deux champs.

- Connaitre les caractéristiques principales de ces deux champs dans le but de comprendre et d'interpréter les phénomènes électromagnétiques, notamment la propagation de ces ondes à la vitesse de la lumière (équations de Maxwell).

Vous trouverez dans cette partie les notes de cours (sous forme de diaporama) qui étaient disponibles pour les étudiants de L2 SPI et autres sur MOODLE.

SOMMAIRE :

Leçon 1 : Loi de Coulomb **5**

Leçon 2 : Champ électrique **28**

Plan du module

Electrostatique :

1) Loi de coulomb
2) Champ électrostatique
3) Potentiel électrostatique
4) Théorème de Gauss
5) Condensateurs
6) Energie électrostatique
7) *Dipôle électrostatique*

3 x 6h + 1,5 DS = 19,5h

Magnétostatique :

1) Champ magnétique
2) Loi de Biot et Savart
3) Théorème d'Ampère
4) Force de Laplace
5) Loi de Faraday
6) *Effet Hall*

6 x 3h + 1,5 DS = 19,5h

Leçon 1 : Loi de coulomb.

1) Electrostatique - Loi de Coulomb

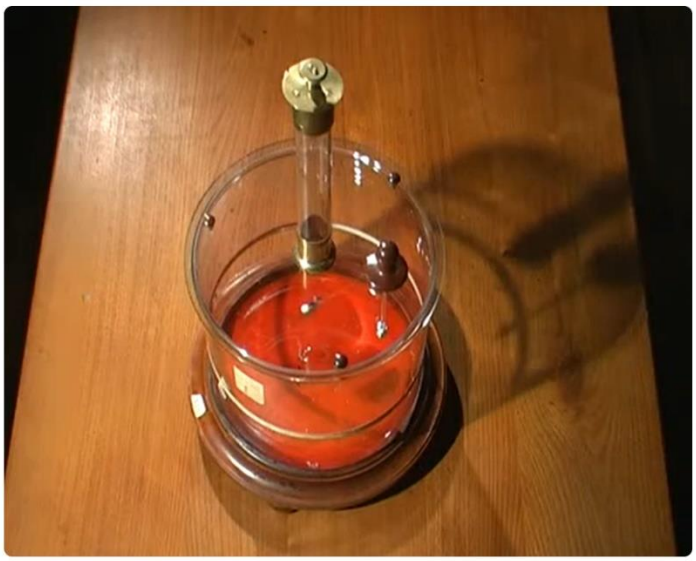
- Loi de Coulomb
- Notes - Loi de Coulomb
- Electroscope
- Balance de Coulomb

Lien du film « électroscope » :

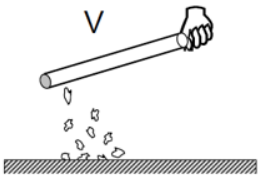
https://www.youtube.com/watch?v=TZQGstTysYQ

Lien du film « Balance de Coulomb » :

https://www.youtube.com/watch?v=omobCEi20ng



Leçon 1 : Loi de coulomb.



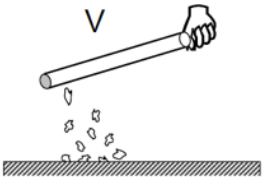
(a)

Verre électrisé

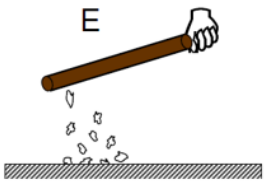
- Une tige en verre bien sèche, frottée à l'aide d'un morceau de drap en soie ou en laine, tenue à la main, attire de petits morceaux de papier (figure a).

- L'attraction se produit à des endroits bien précis de la surface de la tige.

Leçon 1 : Loi de coulomb.



(a)



(b)

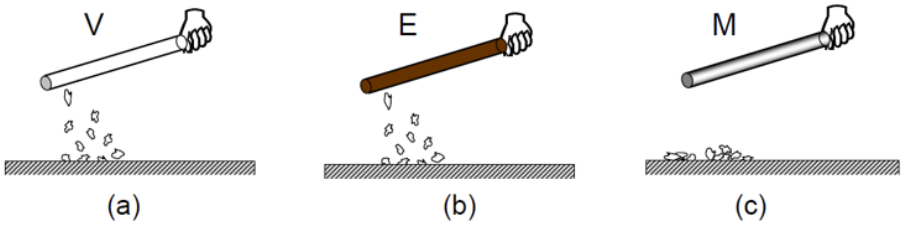
Verre électrisé Ebonite électrisée

Électrisation par frottement

- Même résultat si on remplace la tige en verre par un bâton d'ébonite , frottée à l'aide d'un morceau de drap en soie ou en laine (figure b).

- L'attraction se produit encore à des endroits bien précis de la surface de la tige.

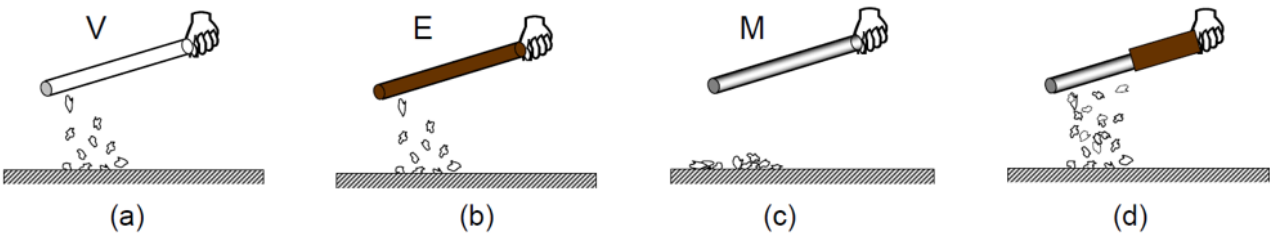
Leçon 1 : Loi de coulomb.



Verre électrisé | Ebonite électrisée | Cuivre électrisé

- Avec une tige en cuivre, il ne se passe rien dans ce cas ?? (figure c).

Leçon 1 : Loi de coulomb.



Verre électrisé | Ebonite électrisée | Cuivre électrisé | Cuivre électrisé isolé de l'utilisateur

- Avec une tige en cuivre, isolée (figure d).
- L'attraction se produit sur toute la surface apparente du cuivre.

1 : Introduction – Expérience et observations.

Attractions et répulsions électriques.

Soit un pendule formé d'une balle de sureau soutenue par un fil isolant, un fil de soie par exemple (fig. 1).

Approchons un corps électrisé, la balle est ?

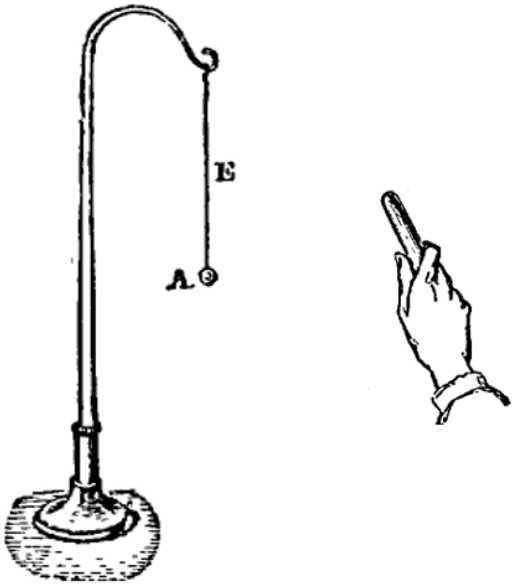


Fig. 1.

1 : Introduction – Expérience et observations.

Attractions et répulsions électriques.

Soit un pendule formé d'une balle de sureau soutenue par un fil isolant, un fil de soie par exemple (fig. 1).

Approchons un corps électrisé, la balle est attirée (fig. 2).

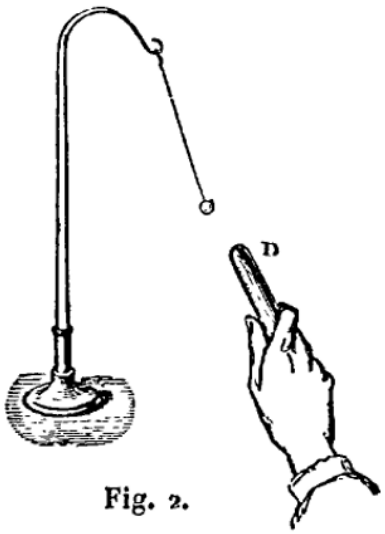
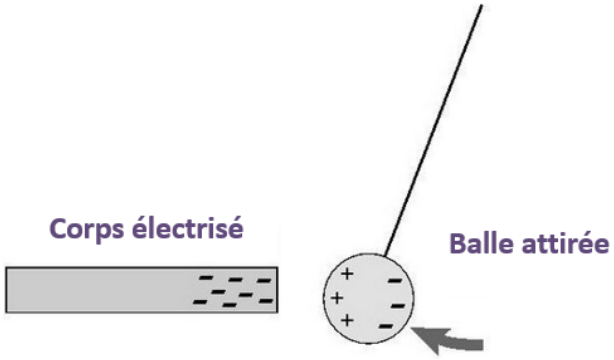


Fig. 2.



1 : Introduction – Expérience et observations.

Attractions et répulsions électriques.

Soit un pendule formé d'une balle de sureau soutenue par un fil isolant, un fil de soie par exemple (fig. 1).

Approchons un corps électrisé, la balle est attirée (fig. 2).

On la laisse ensuite venir au contact du corps électrisé et partager son électricité...

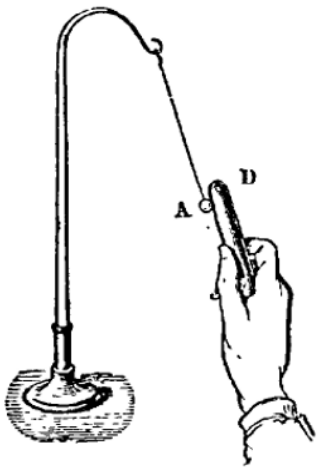
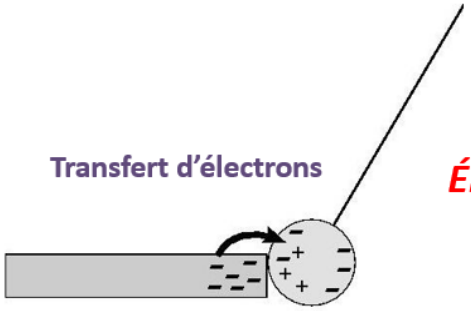


Fig. 2.



Électrisation par contact

1 : Introduction.

Attractions et répulsions électriques.

Soit un pendule formé d'une balle de sureau soutenue par un fil isolant, un fil de soie par exemple (fig. 1).

Approchons un corps électrisé, la balle est attirée (fig. 2).

Si on la laisse venir au contact du corps électrisé et partager son électricité,
elle est ensuite vivement repoussée et fuit obstinément le corps électrisé (fig. 3).

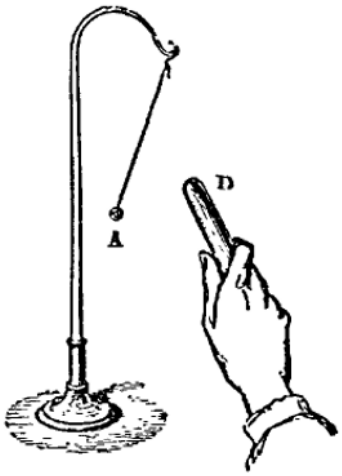
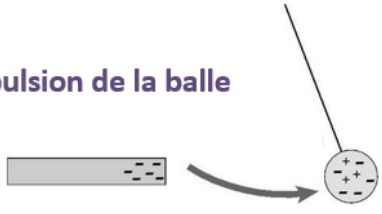
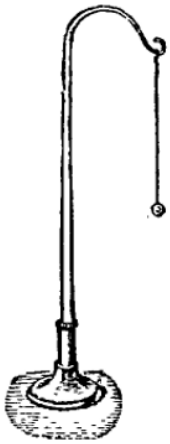


Fig. 3.

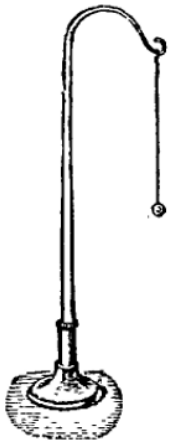


1 : Introduction.



Bâton de verre frotté par du drap.

Pendule A

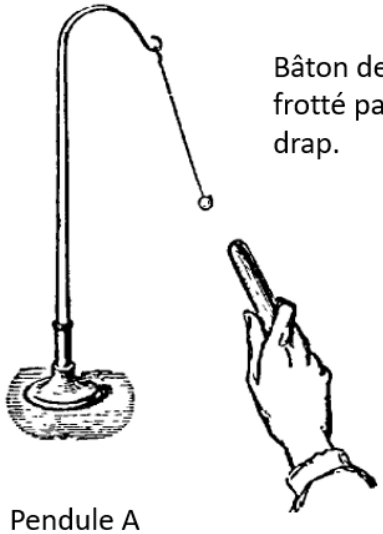


Bâton de résine frotté par une peau de chat.

Pendule B

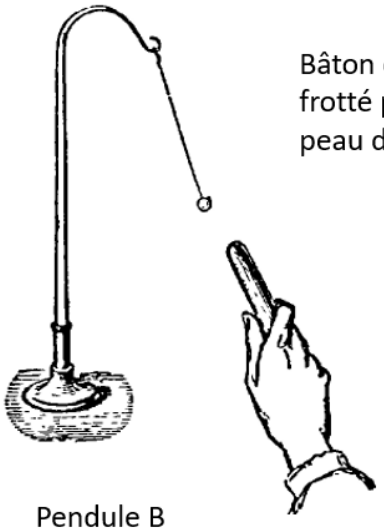
Prenons 2 pendules A et B et 2 bâtons différents.

1 : Introduction.



Bâton de verre frotté par du drap.

Pendule A

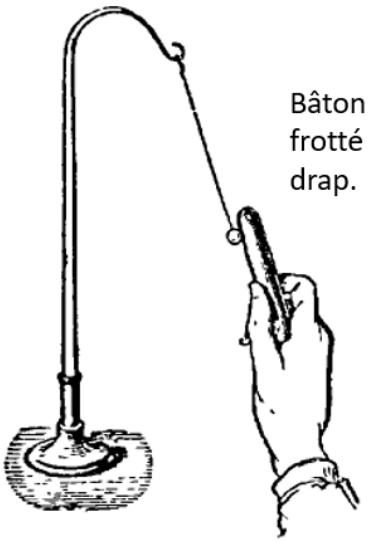


Bâton de résine frotté par une peau de chat.

Pendule B

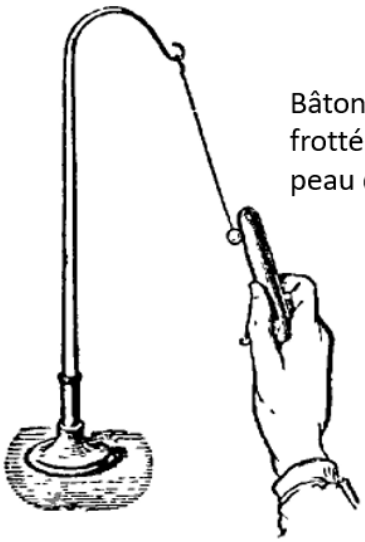
Les 2 balles sont attirées par les bâtons.

1 : Introduction.



Bâton de verre frotté par du drap.

Pendule A

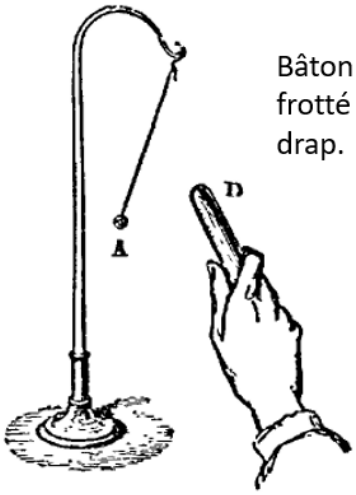


Bâton de résine frotté par une peau de chat.

Pendule B

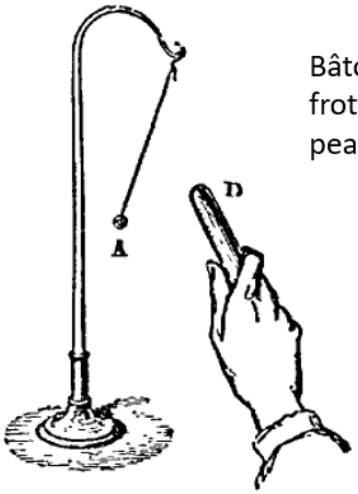
Electricités échangées entre les balles et les bâtons

1 : Introduction.



Bâton de verre frotté par du drap.

Pendule A

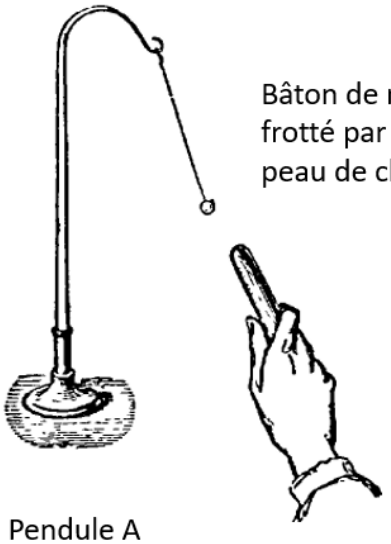


Bâton de résine frotté par une peau de chat.

Pendule B

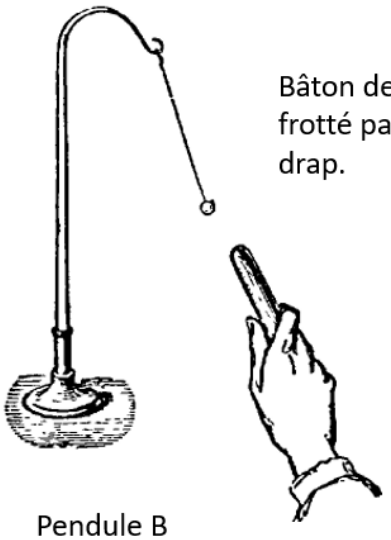
Puis les balles de sureau sont repoussées dans les 2 cas

1 : Introduction.



Bâton de résine frotté par une peau de chat.

Pendule A



Bâton de verre frotté par du drap.

Pendule B

Si on inverse les bâtons, la balle de sureau est de nouveau attirée.

On ne peut trouver aucune substance qui après frottement attirerait les 2 pendules.

1 : Introduction.

Que peut-on conclure de ces expériences ?

L'état du verre électrisé n'est donc pas le même que celui de la résine électrisée.

L'électricité du verre et celle de la résine sont d'espèces différentes.

On en conclut qu'il y a deux espèces d'électricités et qu'il n'y en a que deux.

Pour les distinguer nous les appellerons électricité positive et électricité négative.

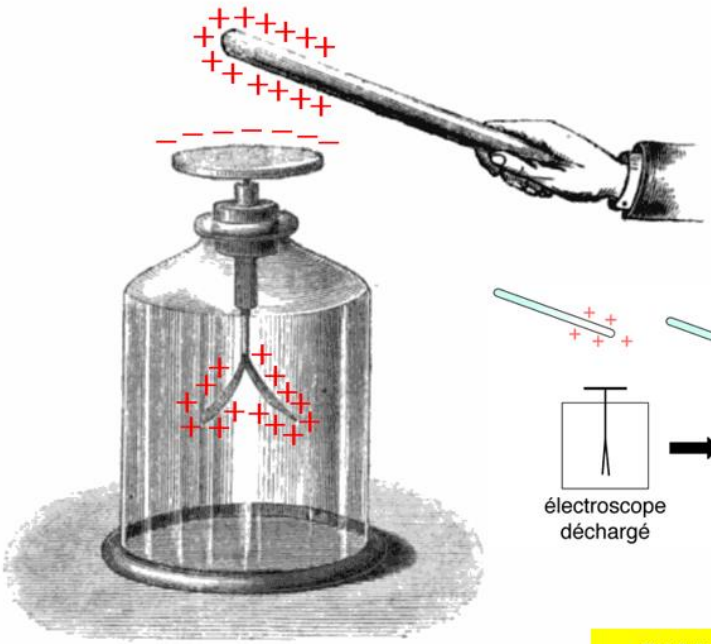
Nous sommes finalement conduits à la loi fondamentale suivante :

a) Il existe deux espèces d'électricité et deux seulement;

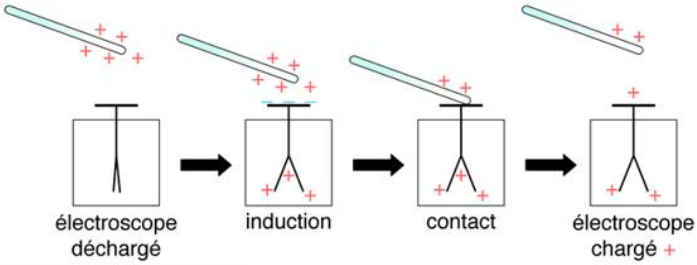
b) Deux corps chargés d'électricité de même signe se repoussent ;

b) Deux corps chargés d'électricités de signes contraires s'attirent.

1 : Introduction.



ELECTROSCOPE



FILM

Lien du film : https://www.youtube.com/watch?v=TZQGstTysYQ

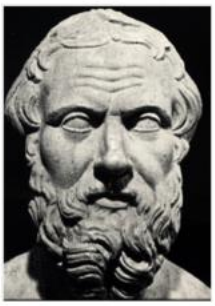
2 : Interactions et structure de la matière.

Les 4 éléments : *(Grèce antique)*

Le feu, l'air, l'eau, la terre sont les quatre "racines" des choses. Les corps se composent et se décomposent à partir de ces quatre éléments sous l'action de deux forces opposées, l'attraction et la répulsion ou plutôt "l'amour" et la "haine".

Film : le 5e élément

2 : Interactions et structure de la matière.

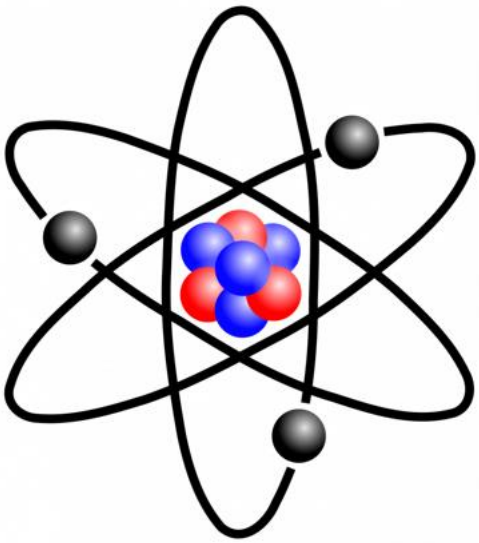


Démocrite

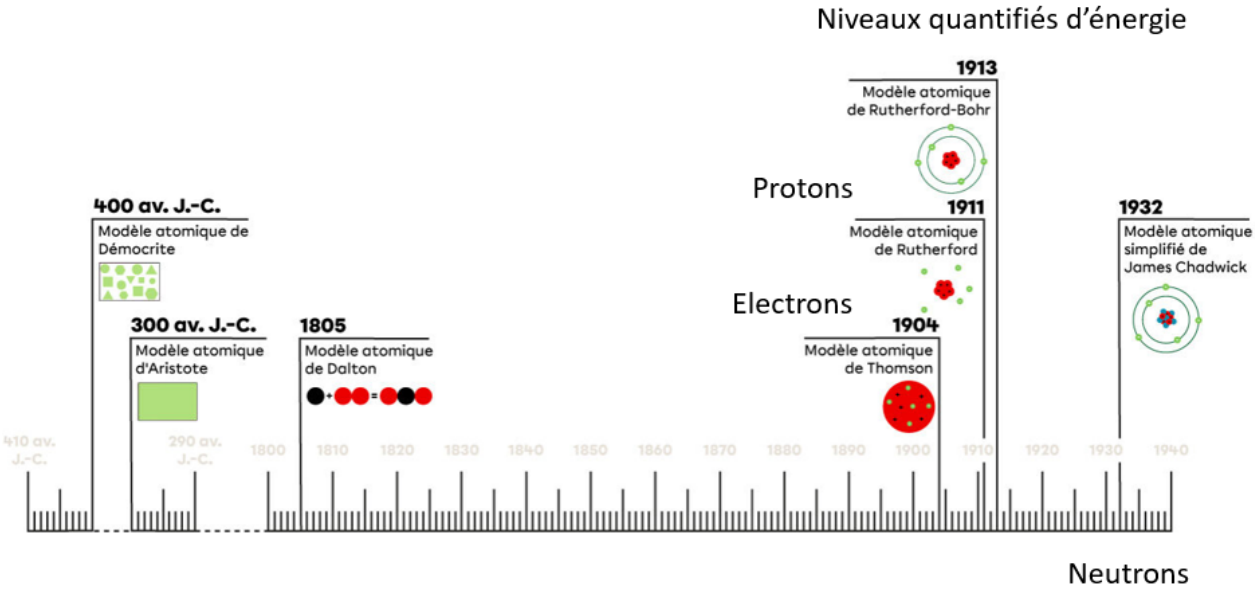
Ernest Rutherford

niels-bohr

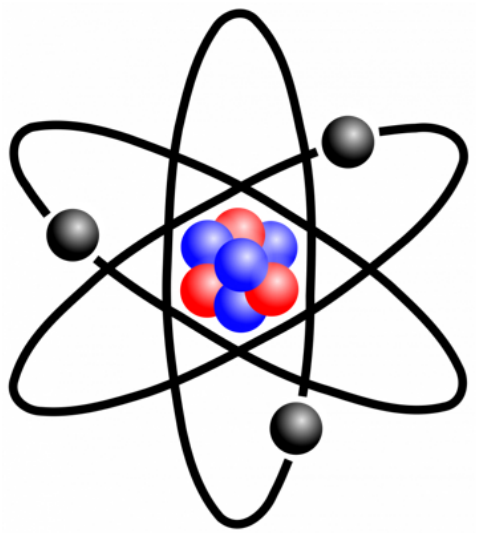
1913



2 : Interactions et structure de la matière.



2 : Interactions et structure de la matière.



Trois particules présentent un intérêt fondamental dans la description de la matière, à notre échelle, lesquelles ?

Au niveau du noyau de l'atome nous allons trouver les proton(s) et les neutron(s).

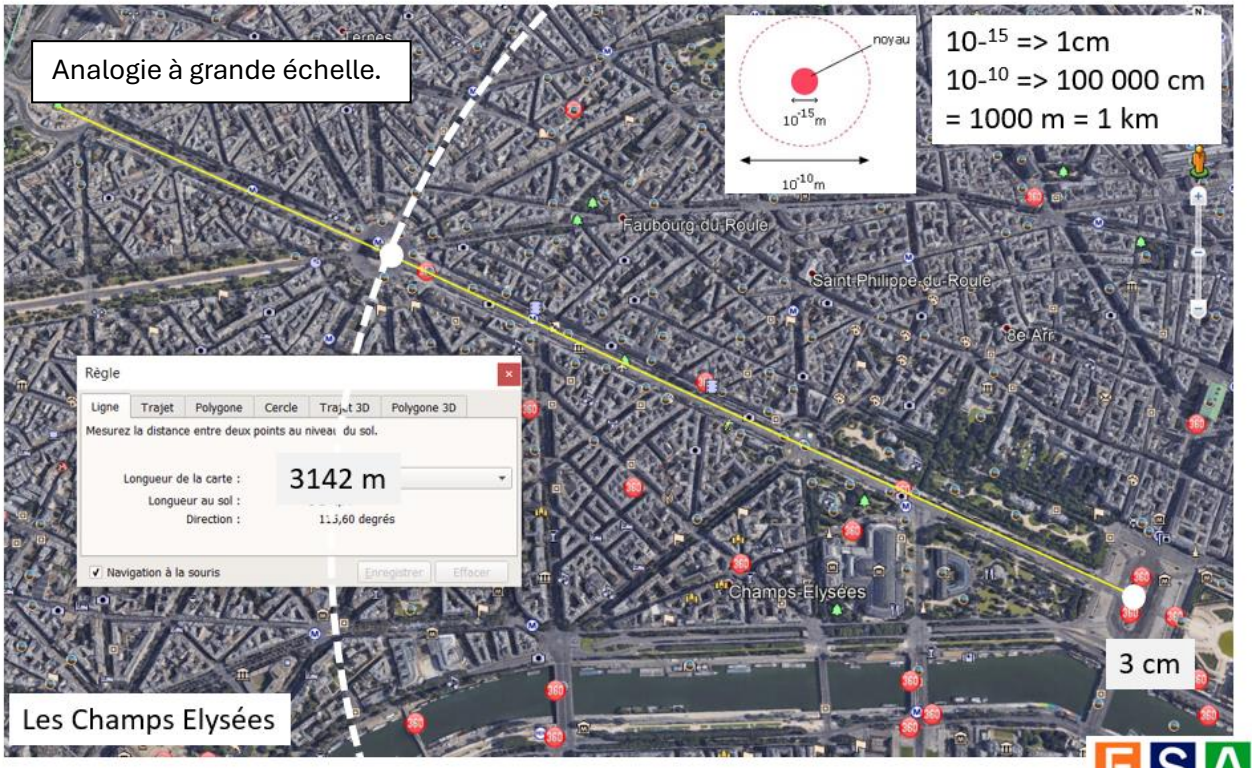
Proton : $m \approx 1{,}672 \cdot 10^{-27}$ kg
$r \approx 1{,}4 \cdot 10^{-15}$ m

Neutron : $m \approx 1{,}674 \cdot 10^{-27}$ kg
$r \approx 1{,}4 \cdot 10^{-15}$ m

Sur les orbitales, les électrons : $m \approx 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ $r \approx 2{,}8 \cdot 10^{-18}$ m

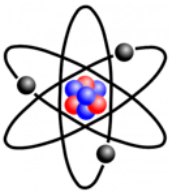
La taille de l'atome est de l'ordre de 1 Å soit 10^{-10} m

2 : Interactions et structure de la matière.



2 : Interactions et structure de la matière.

L'atome est constitué de plusieurs particules élémentaires.

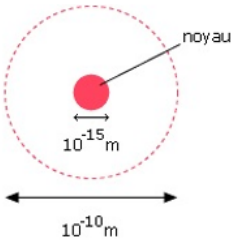


Sa structure est stable.

Pourquoi ?

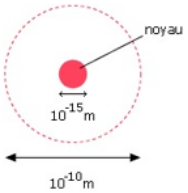
Il existe plusieurs types d'interactions (forces) responsables de cette stabilité.

L'interaction forte :
Elle permet aux nucléons de rester associés pour former un noyau stable.
Son intensité est élevée, sa portée est très courte.
(ordre de grandeur rayons des particules **10^{-15} m = 1 fm**)



2 : Interactions et structure de la matière.

L'atome est constitué de plusieurs particules élémentaires.



Sa structure est stable.

Pourquoi ?

Il existe plusieurs types d'interactions (forces) responsables de cette stabilité.

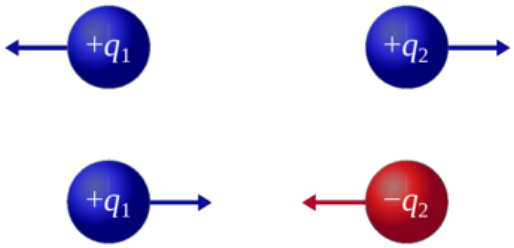
L'interaction forte :
Elle permet aux nucléons de rester associés pour former un noyau stable.
Son intensité est élevée, sa portée est très courte.
(ordre de grandeur rayons des particules **10^{-15} m = 1 fm**)

L'interaction faible (force nucléaire faible) :
Elle est à l'origine de la désintégration de certains noyaux radioactifs.
(ordre de grandeur de sa portée **10^{-18} m = 0,001 fm**)

2 : Interactions et structure de la matière.

L'interaction électromagnétique :
C'est l'interaction qui s'exerce entre les particules et les corps chargés.

Elle fera l'objet de ce cours. C'est une interaction à longue portée (**10^{-15} à 1 m**).
Cette interaction donnera des effets notables à l'échelle macroscopique.



2 : Interactions et structure de la matière.

L'interaction gravitationnelle :
Elle se manifeste par la chute des corps (force gravitationnelle-Loi de Newton).
Contrairement aux forces nucléaires, c'est une interaction à très longue portée (1 à 10^{26} m).
Exemple : le système solaire.

Naissance	25 décembre 1642
Décès	20 mars 1727 (à 84 ans)

Isaac Newton

3 : Interaction électrostatique.

Cadre de l'électrostatique :

Nous allons nous limiter à des interactions électromagnétiques entre charges ponctuelles immobiles dans un repère galiléen.

On distingue 2 types de charges : les charges positives et les charges négatives.

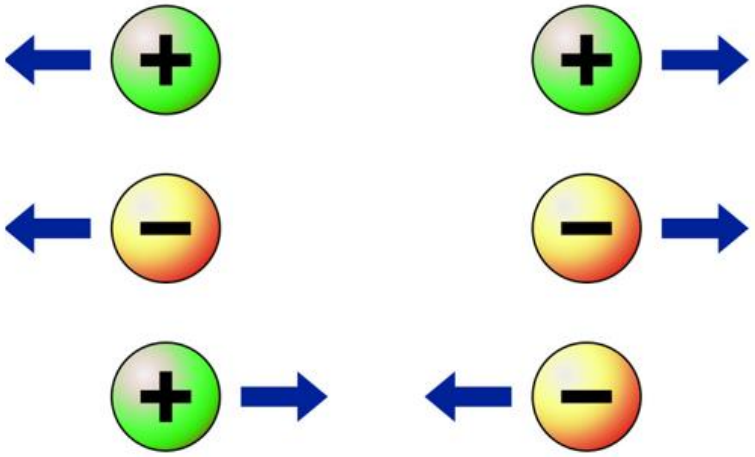
Conventionnellement on attribue la charge négative à l'électron
et la charge positive au proton.

Quand au neutron, c'est une particule électriquement neutre, il a donc une charge nulle.

3 : Interaction électrostatique.

Les particules de même signe se repoussent.

Les particules de signes opposés s'attirent.



4 : Charge et quantité d'électricité.

Corps chargé :
Un corps chargé est un corps auquel on a apporté ou retiré un certain nombre de particules chargées.

C'est donc un corps qui n'est plus électriquement neutre.

(voir les procédés "d'électrisation" exposés auparavant).

Charge élémentaire : (exprimée en coulomb)
La charge élémentaire est très faible, elle vaut : $1{,}60219\ 10^{-19}$ C

Elle correspond en valeur absolue à la charge d'un proton où d'un électron.

Charge totale d'un corps :
On définit la charge totale d'un corps à partir du nombre de particules chargées qu'il contient.

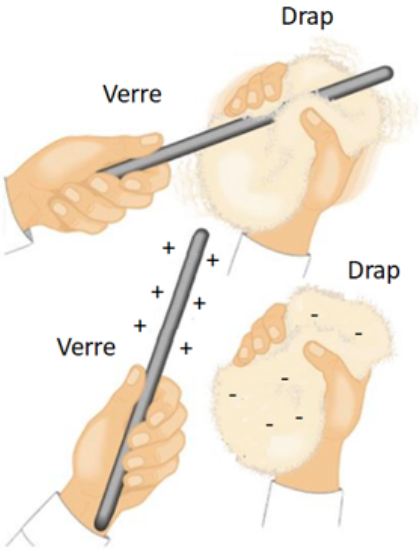
4 : Charge et quantité d'électricité.

Principe de la conservation de la charge électrique.

Lors des expériences précédentes, quand on frotte la tige de verre avec un morceau de drap, la tige de verre acquiert une charge positive, mais en même temps le morceau de drap prend une charge égale et opposée.

Ce phénomène résulte d'un principe général, c'est le *Principe de conservation de la charge électrique.*

Dans un système isolé la somme algébrique des charges électriques reste constante.



5 : Loi de Coulomb.

Naissance	14 juin 1736 Angoulême Angoumois (Royaume de France)
Décès	23 août 1806 (à 70 ans) Paris (France)
Nationalité	Français

$\pm 1{,}60219\ 10^{-19}$ C

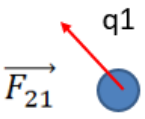
Charge élémentaire

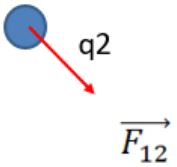
5 : Loi de Coulomb.

Considérons deux charges ponctuelles q1 et q2, placées dans le vide.

On constate que q1 exerce sur q2 une force proportionnelle à q1. $\overrightarrow{F_{12}}$

Réciproquement, q2 exerce sur q1 une force proportionnelle à q2. $\overrightarrow{F_{21}}$



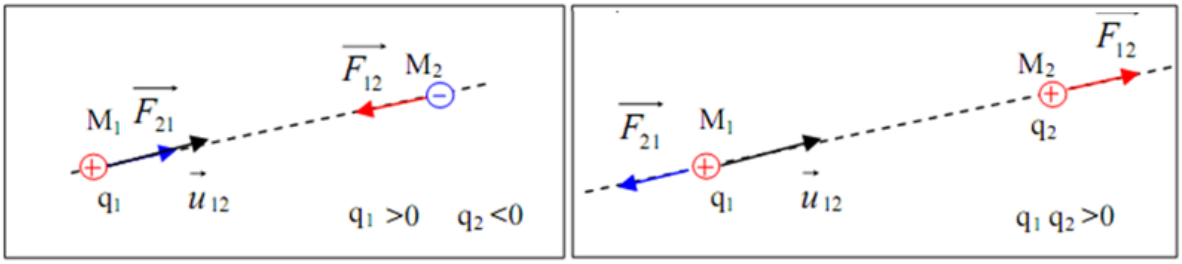


5 : Loi de Coulomb.

Considérons deux charges ponctuelles q1 et q2, placées dans le vide.

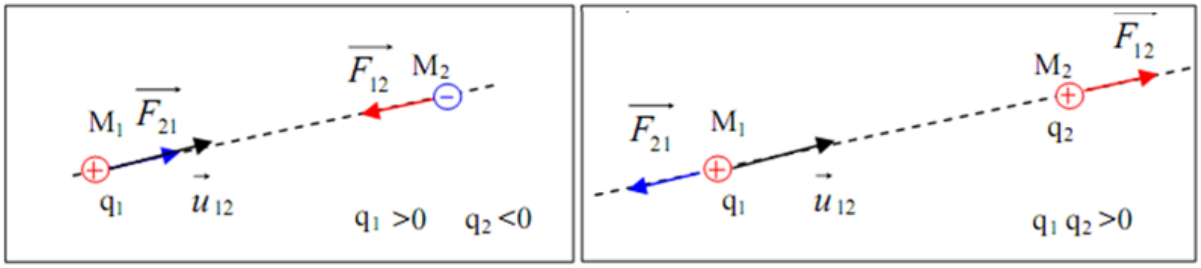
On constate que q1 exerce sur q2 une force proportionnelle à q1. $\overrightarrow{F_{12}}$

Réciproquement, q2 exerce sur q1 une force proportionnelle à q2. $\overrightarrow{F_{21}}$



Vecteur unitaire : $\overrightarrow{u_{12}}$ d : distance entre les deux charges

5 : Loi de Coulomb.



Vecteur unitaire : $\overrightarrow{u_{12}}$ d : distance entre les deux charges

La loi de Coulomb s'écrit :

$$\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}} = K \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \cdot \overrightarrow{u_{12}}$$

K est appelé la constante de Coulomb : $K = 8{,}9875.10^9 \approx 9.\ 10^9$ N m^2 C.

5 : Loi de Coulomb – Exercice 1.

$$\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}} = K \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \cdot \overrightarrow{u_{12}}$$

q1 = + 50 . 1,60219 10^{-19} C

q2 = - 20 . 1,60219 10^{-19} C

d = 0,3 mm

K = 8,9875.10^9 ≈ 9.10^9

Travail demandé :

1) Calculer le module des 2 forces $\overrightarrow{F_{12}}$ et $\overrightarrow{F_{21}}$

2) Dessiner les vecteurs $\overrightarrow{F_{12}}$ et $\overrightarrow{F_{21}}$

5 : Loi de Coulomb.

Nos deux charges ponctuelles q1 et q2 étaient placées dans le vide.

Dans ce cas, la constante K peut s'écrire ainsi :

$$K = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0}$$

Avec ε_0 qui est appelé permittivité diélectrique du vide.
(propriété physique qui décrit la réponse d'un milieu donné à un champ électrique appliqué)

$$\varepsilon_0 = 8{,}8537.10^{-12} = \frac{1}{36.\pi.10^9}$$

unité : F m^{-1}

5 : Loi de Coulomb – Exercice 2.

$$\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \cdot \overrightarrow{u_{12}}$$

Une charge q1 se situe dans un plan au point A de coordonnées (2 ; 8) en µm.
q1 est positive et vaut 150 fois la charge élémentaire.

Une autre charge q2 se situe dans le même plan au point B de coordonnées (-4 ; -2) en µm.
q2 est négative et vaut 50 fois la charge élémentaire.

Travail demandé :

1) Déterminer la valeur du vecteur $\overrightarrow{AB}$.
2) En déduire la distance d entre les 2 charges.
3) En déduire l'intensité des deux forces en Newton.
4) Ecrire les 2 forces sous forme vectorielle.

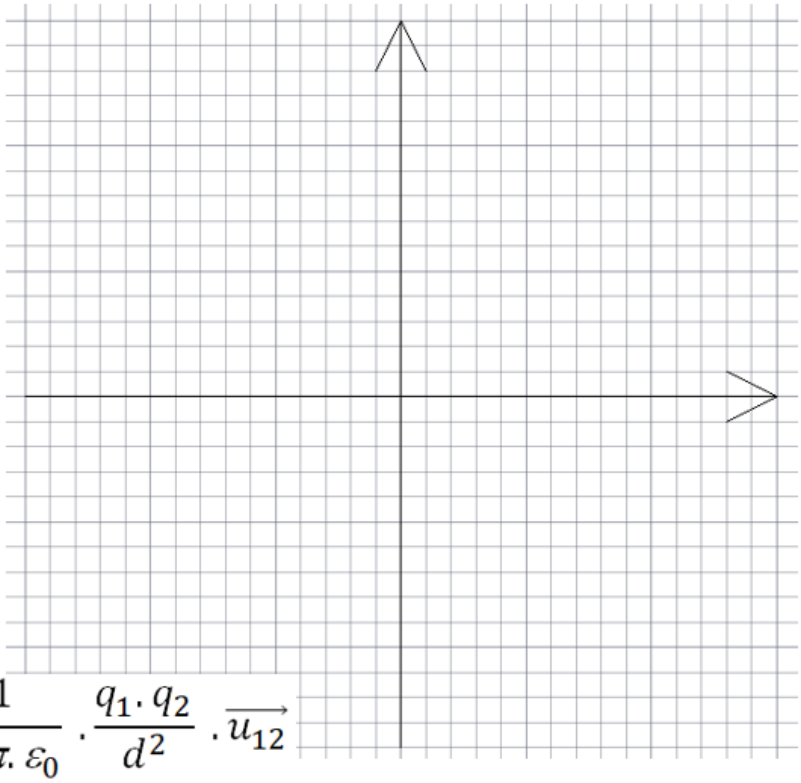
$$\overrightarrow{AB} = \begin{pmatrix} ? \\ ? \end{pmatrix}$$

5 : Loi de Coulomb – Exercice.

A (2 ; 8) en µm.
q1 = 150e > 0
B (-4 ; -2) en µm.
q2 = -50e < 0

Travail demandé :

1) $\overrightarrow{AB}$?
2) d ?
3) F ?
4) Forme vectorielle ?



$$\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \cdot \overrightarrow{u_{12}}$$

5 : Loi de Coulomb.

Expression de la loi de Coulomb dans le vide :

$$\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} . \frac{q_1 . q_2}{d^2} . \overrightarrow{u_{12}}$$

Vecteur unitaire : $\overrightarrow{u_{12}}$ d : distance entre les deux charges

Expression de la loi de Coulomb dans un milieu autre que le vide :

$$\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon} . \frac{q_1 . q_2}{d^2} . \overrightarrow{u_{12}}$$

Avec ε la permittivité absolue de ce milieu.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 . \varepsilon_r$$

Avec ε_r la permittivité relative de ce milieu (pas d'unité).

5 : Loi de Coulomb.

Expression de la loi de Coulomb dans un milieu autre que le vide :

$$\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon} . \frac{q_1 . q_2}{d^2} . \overrightarrow{u_{12}}$$

Avec ε la permittivité absolue de ce milieu.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 . \varepsilon_r$$

Avec ε_r la permittivité relative de ce milieu.

$$\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0.\varepsilon_r} . \frac{q_1 . q_2}{d^2} . \overrightarrow{u_{12}}$$

5 : Loi de Coulomb.

Avec ε_r la permittivité relative de ce milieu.

$$\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0.\varepsilon_r} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \cdot \overrightarrow{u_{12}}$$

Matériau	Permittivité relative ε_r	Matériau	Permittivité relative ε_r
vide	1	Bakélite (PF)	3,6
Air sec	1,0006	marbre	4
isolant de câble de téléphone	1,5	quartz	4,5
Teflon (PTFE)	2,1	verre standard	5
papier	2,3	mica	8
polystyrène (PS)	2,4	eau	78,5

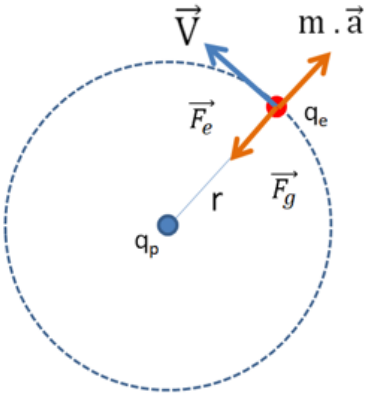
Pour l'air nous allons considérer que $\varepsilon_r = 1$ donc que l'air a la même permittivité que le vide.

$$\varepsilon_{air} = \varepsilon_0 = 8{,}8537.10^{-12}.$$

6 : Exercice 3 – Atome de Bohr

Analogie entre la force gravitationnelle et la force électrique.

Dans le modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène, on suppose que celui-ci est constitué d'un électron, de masse *me* et portant une charge *-e* , qui tourne, sur une trajectoire circulaire de rayon *r*, autour d'un noyau assimilé à un objet ponctuel.



Calculer le rapport des deux forces qui interviennent dans ce mouvement : La force électrostatique F_e et la force de gravitation F_g . On donne :

La charge électrique du proton est + *e* et sa masse $m_p = 1{,}67 \ . 10^{-27}$ kg,

$e = 1{,}6 \ . 10^{-19}$ C,

$m_e = 9{,}11 \ . 10^{-31}$ kg, $r = 5{,}3 \ . 10^{-11}$ m

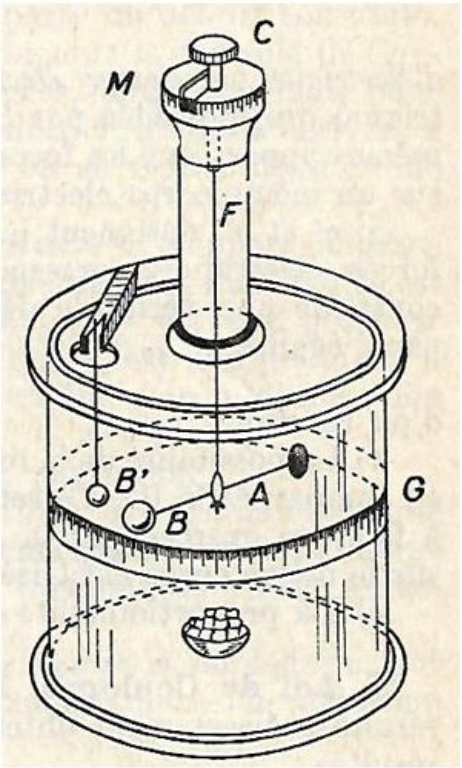
$G = 6{,}67 \ . 10^{-11}$ (constante de gravitation)

$$F_E = K\,\frac{e^2}{r^2} = 9.10^9 \times \frac{(1,6\cdot 10^{-19})^2}{(5,3\cdot 10^{-11})^2} = 8{,}2.10^{-8}\ \text{N}$$

$$F_G = G\,\frac{m_e\, m_p}{r^2} = 6{,}67.10^{-11} \times \frac{9,11\cdot 10^{-31} \times 1,67\cdot 10^{-27}}{(5,3\cdot 10^{-11})^2} = 3,6.10^{-47}\ \text{N}$$

Le rapport de ces deux forces : $\frac{F_E}{F_G} = 0,23.\ 10^{40}$ est très grand.

7 : Balance de torsion de Coulomb.



Passage de l'étude qualitative à l'étude quantitative.

Balance de torsion de Coulomb.

Dynamomètre très sensible...

Coulomb a étudié la torsion des fils et il en a établie des lois.

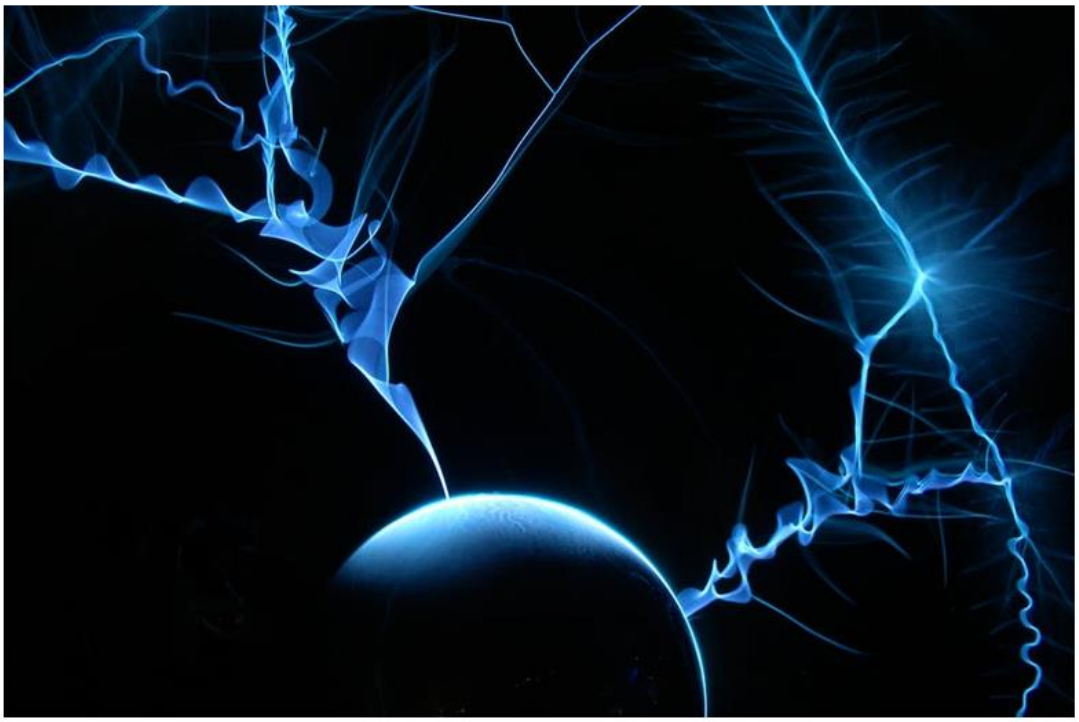
FILM

https://www.youtube.com/watch?v=omobCEi20ng

Fin de la leçon 1

Fin des notes de cours concernant la leçon 1

Leçon 2 : Champ électrique.



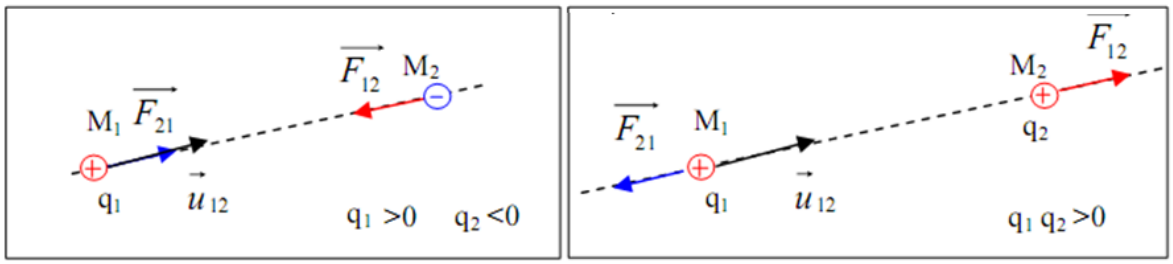
2) Electrostatique - Le champ électrique

Le champ électrique

Notes - Champ électrique

1 : Notion de champ.

Rappelons-nous des interactions entre 2 charges fixes (forces de Coulomb).



Nous savons que **la charge q1 exerce à distance sur la charge q2 une force $\overrightarrow{F_{12}}$**

$$\overrightarrow{F_{12}} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} . \frac{q_1 . q_2}{d^2} . \overrightarrow{u_{12}}$$

1 : Notion de champ.

$$\overrightarrow{F_{12}} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} . \frac{q_1 . q_2}{d^2} . \overrightarrow{u_{12}}$$

Force en N

En physique, la notion de force exercée à distance est toujours liée à la notion de champ.

Si un objet 2 est attiré ou repoussé par un objet 1, c'est qu'il existe un champ invisible qui entoure l'objet 1 et qui agit ainsi directement sur l'objet 2.

Il existe 3 types de champ, le champ gravitationnel, le champ électrique et le champ magnétique.

Mais alors quelle est l'expression de ce champ qui entoure la charge q1 et agit sur q2 ?

2 : Champ électrostatique.

$$\overrightarrow{F_{12}} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} . \frac{q_1 . q_2}{d^2} . \overrightarrow{u_{12}}$$

Mais alors quelle est l'expression de ce champ qui entoure la charge q1 et agit sur q2 ?

L'expression du champ nous est donnée par l'équation de la force. Cette expression regroupe tous les éléments qui ne dépendent pas de q2 donc :

$$\vec{E} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} . \frac{q_1}{d^2} . \overrightarrow{u_{12}}$$

$\vec{E}$ est par définition, le champ électrostatique crée par la charge q1 au point de l'espace où se trouve la charge q2.

Ce champ $\vec{E}$ dépend de la valeur de la charge q1.

L'intensité ou module de ce champ $\vec{E}$ est inversement proportionnelle à la distance d au carré séparant les 2 charges.

2 : Champ électrostatique.

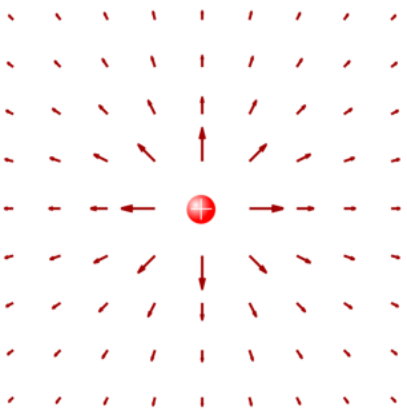
$$\vec{E} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} . \frac{q_1}{d^2} . \overrightarrow{u_{12}}$$

On peut donc dire que la charge q1 crée autour d'elle un champ électrique $\vec{E}$.

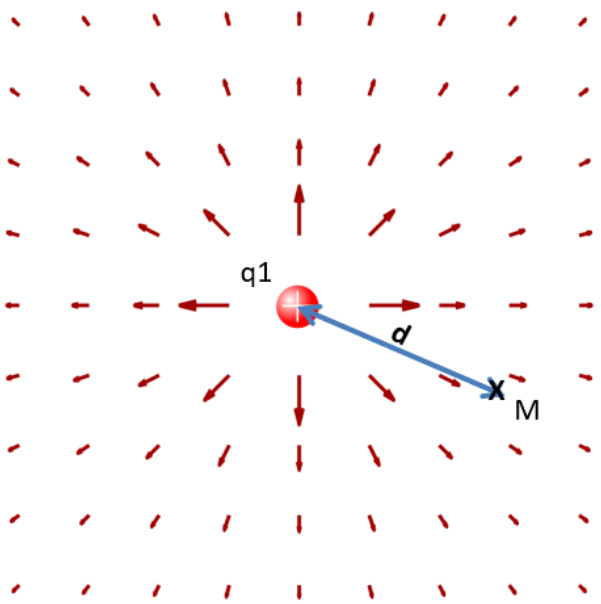
Plus on s'éloigne d'une distance d de la charge q1, plus ce champ est faible.

De même comme le champ électrique $\vec{E}$ est un vecteur, on parle ici de champ vectoriel.

A chaque point de l'espace on peut associer une valeur de $\vec{E}$ créé par la charge q1.



2 : Champ électrostatique.



$$\vec{E} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1}{d^2} \cdot \overrightarrow{u_{12}}$$

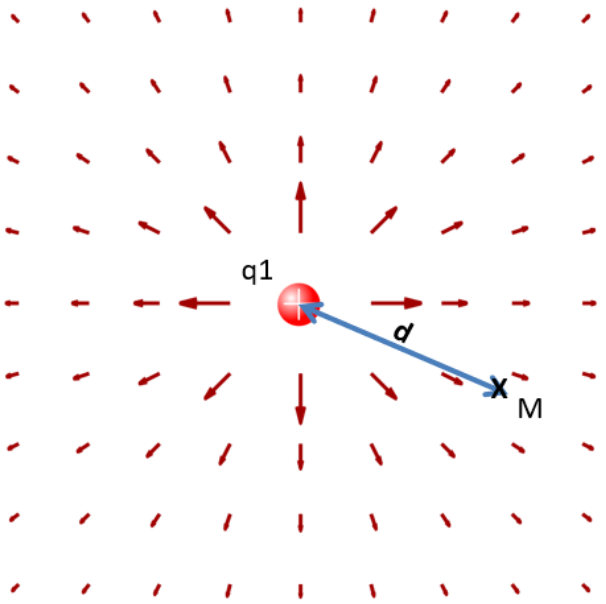
$\vec{E}$ est le champ électrique créé par la charge q1.

C'est un champ vectoriel.

Module de $\vec{E}$ au point M :

$$|\vec{E}| = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1}{d^2}$$

2 : Champ électrostatique.

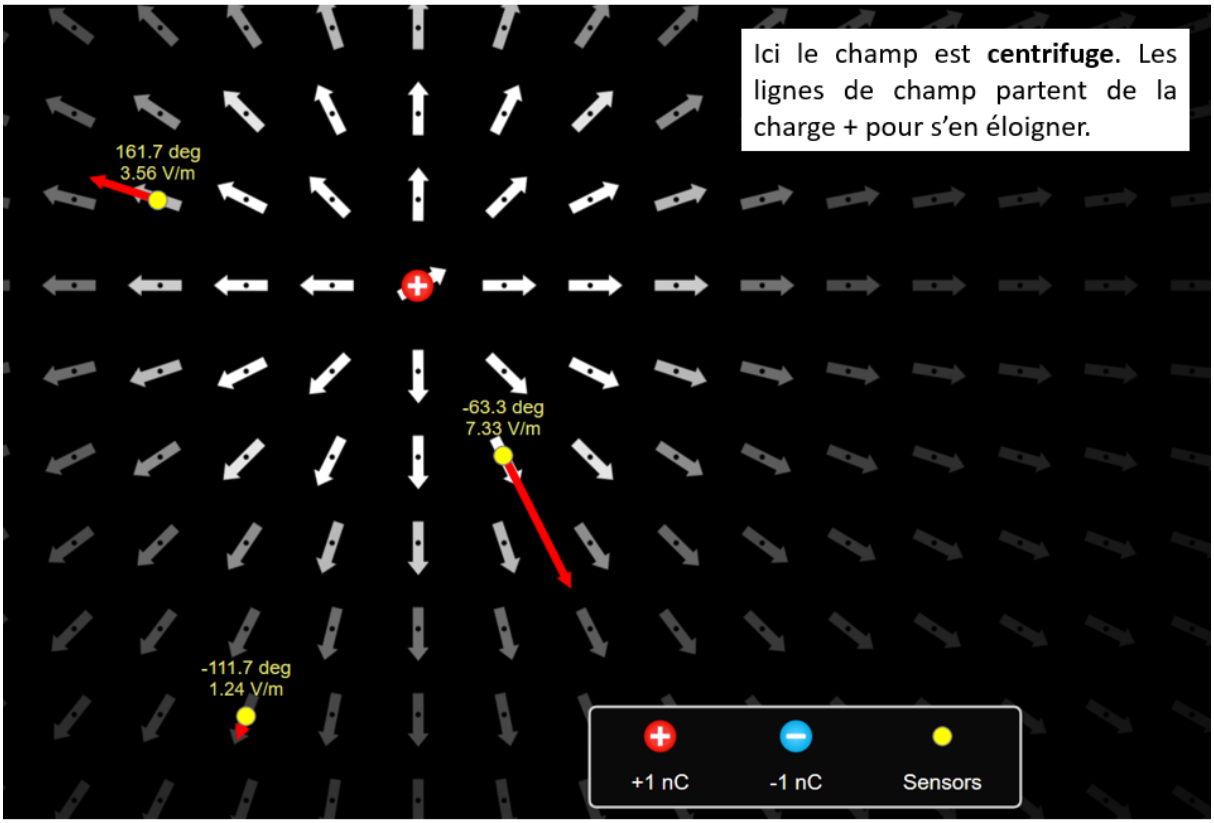


Mais quelle est l'unité du champ électrique $\vec{E}$?

$$\overrightarrow{F_{12}} = q_2 \cdot \vec{E}$$

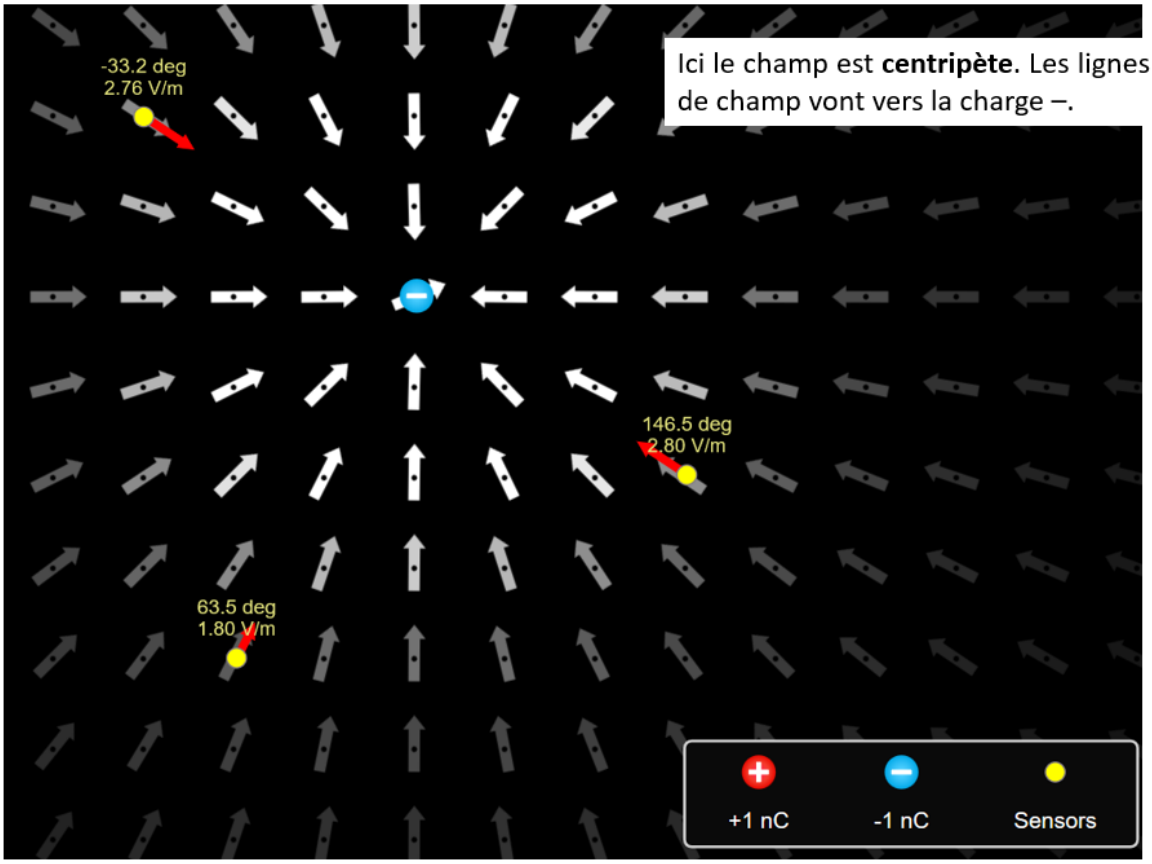
L'unité choisie pour le champ électrique E est le V/m.

https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_en.html

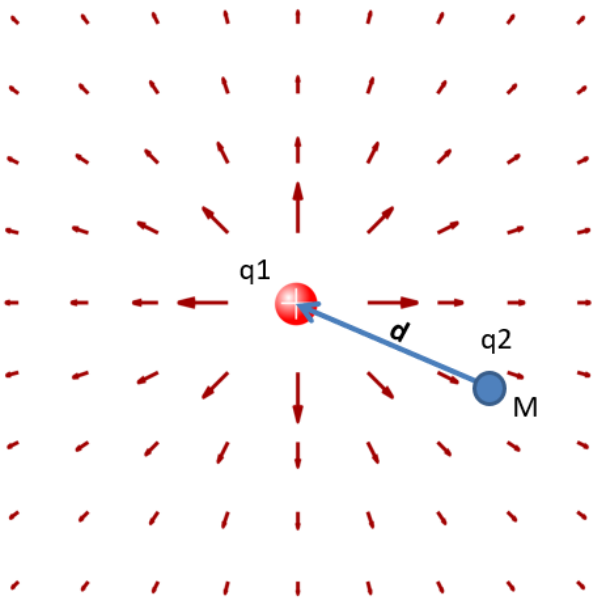


https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_en.html

https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_en.html



3 : Relation entre Champ électrostatique et force



Champ électrique $\vec{E}$ du à la charge q1.

$$\vec{E} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} . \frac{q_1}{d^2} . \overrightarrow{u_{12}}$$

Expression de la force $\overrightarrow{F_{12}}$ exercée par la charge q1 sur la charge q2.

$$\overrightarrow{F_{12}} = \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} . \frac{q_1 . q_2}{d^2} . \overrightarrow{u_{12}}$$

Nous remarquons que cette force $\overrightarrow{F_{12}}$ peut s'exprimer ainsi :

$$\overrightarrow{F_{12}} = q_2 . \vec{E}$$

3 : Relation entre Champ électrostatique et force

On attribue donc la force de Coulomb $\overrightarrow{F_{12}}$ s'exerçant sur la charge q_2 à un champ $\vec{E}$ existant au point ou se trouve cette charge q_2.

Ce champ $\vec{E}$ est créé par la charge q_1.

$$\overrightarrow{F_{12}} = q_2 . \vec{E}$$

Force en N
E en V/m

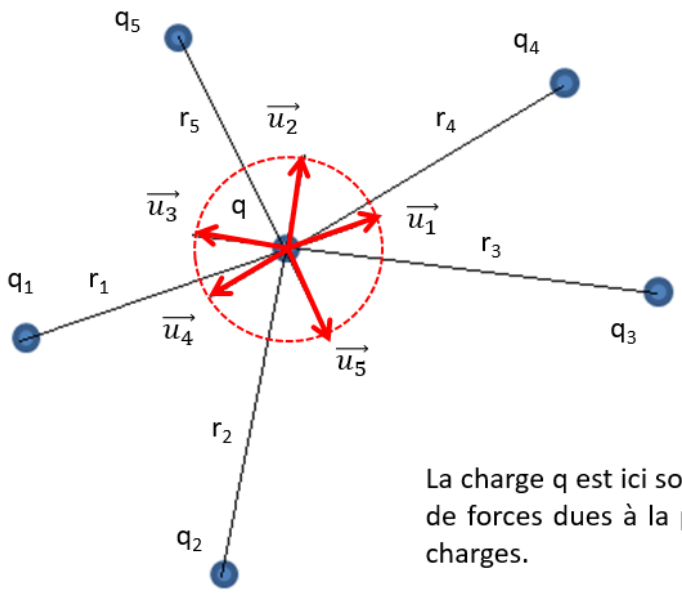
Si on connait le champ $\vec{E}$ créé par la charge q_1 en tout point de l'espace, alors on pourra déterminer les forces qui s'exercent sur toutes les charges présentes dans cette espace.

Commet peut-on détecter la présence d'un champ électrique (invisible) dans un milieu quelconque ?

En y plaçant une charge électrique, si cette charge est accélérée donc soumise à une force c'est que nous sommes bien en présence d'un champ électrique dans ce milieu.

4 : Principe de superposition.

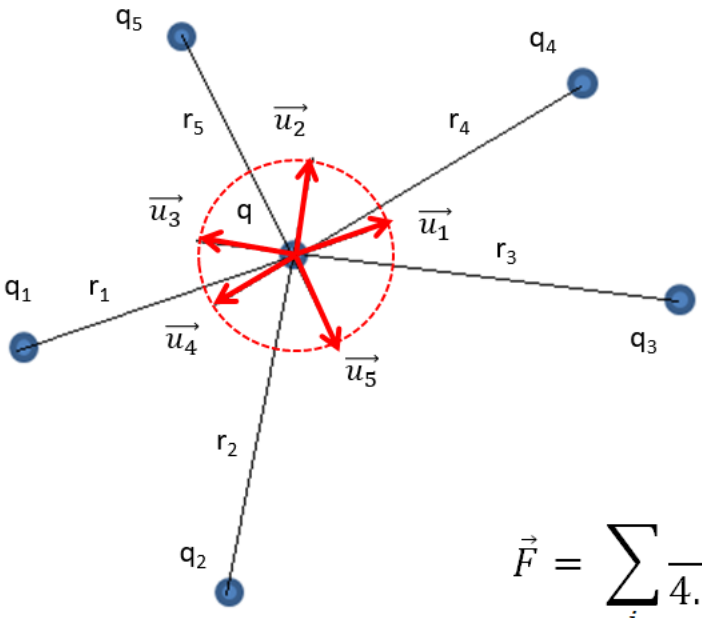
Considérons une charge q placée en un point M et se trouvant en présence de n autres charges q_i placées en des points M_i, avec i = 1,2,3 … n-1, n.



La charge q est ici soumise à une somme de forces dues à la présence des autres charges.

4 : Principe de superposition.

Considérons une charge q placée en un point M et se trouvant en présence de n autres charges q_i placées en des points M_i, avec i = 1,2,3 … n-1, n.



$$\vec{F} = \sum_i \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} . \frac{q_i . q}{{r_i}^2} . \overrightarrow{u_i}$$

4 : Principe de superposition.

Expression de la force totale exercée sur la charge q :

$$\vec{F} = \sum_i \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} . \frac{q_i . q}{r_i^2} . \overrightarrow{u_i}$$

Cette force peut s'écrire sous la forme :

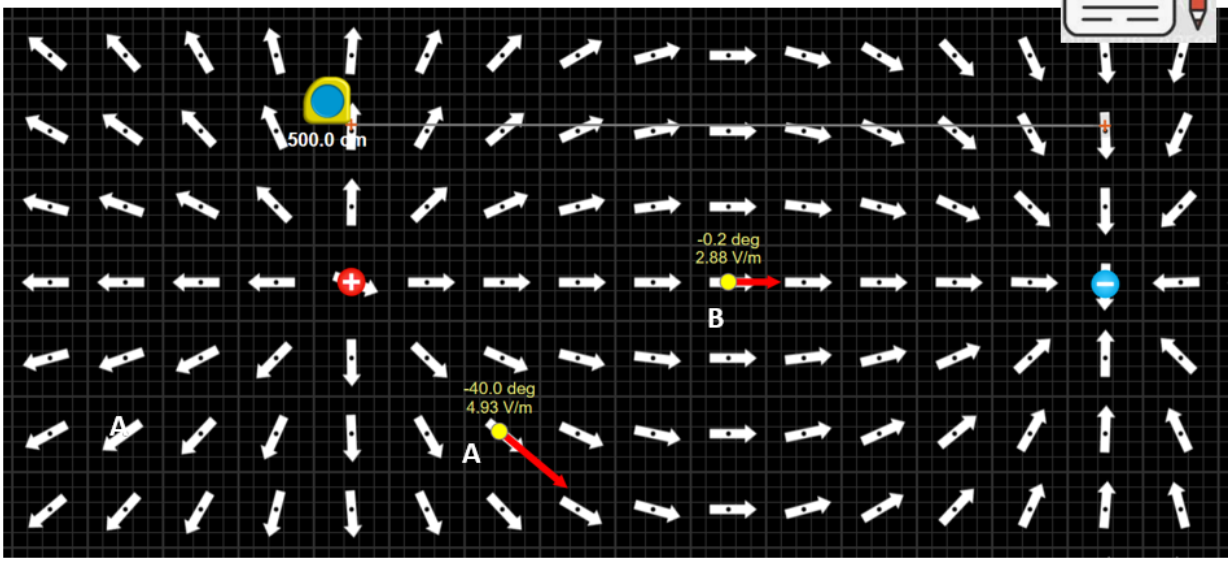
$$\vec{F} = q . \vec{E}$$

Ce qui nous donne pour le champ électrique à la position de la charge q :

$$\vec{E} = \sum_i \frac{1}{4.\pi.\varepsilon_0} . \frac{q_i}{r_i^2} . \overrightarrow{u_i} \longrightarrow \vec{E} = \sum_i \overrightarrow{E_i}$$

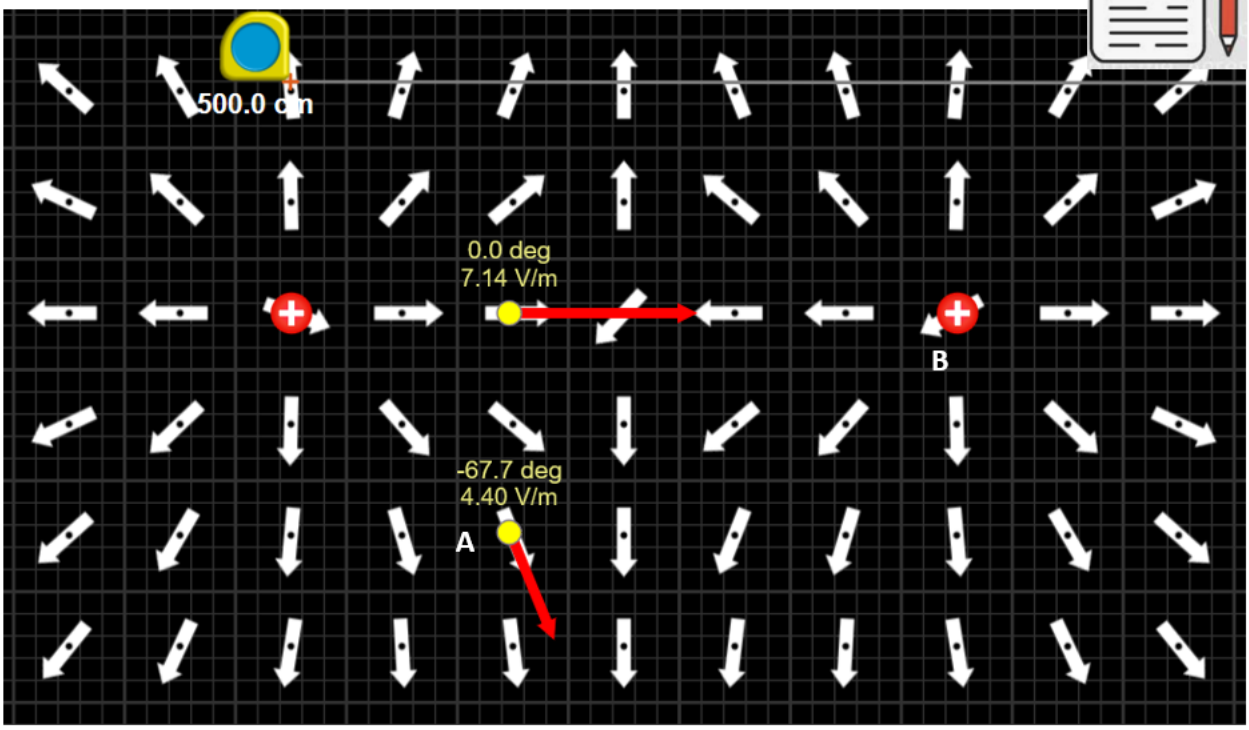
Le champ $\vec{E}$ est la somme des champs créés par toutes les autres charges.

5 : Principe de superposition – Exercice 1.



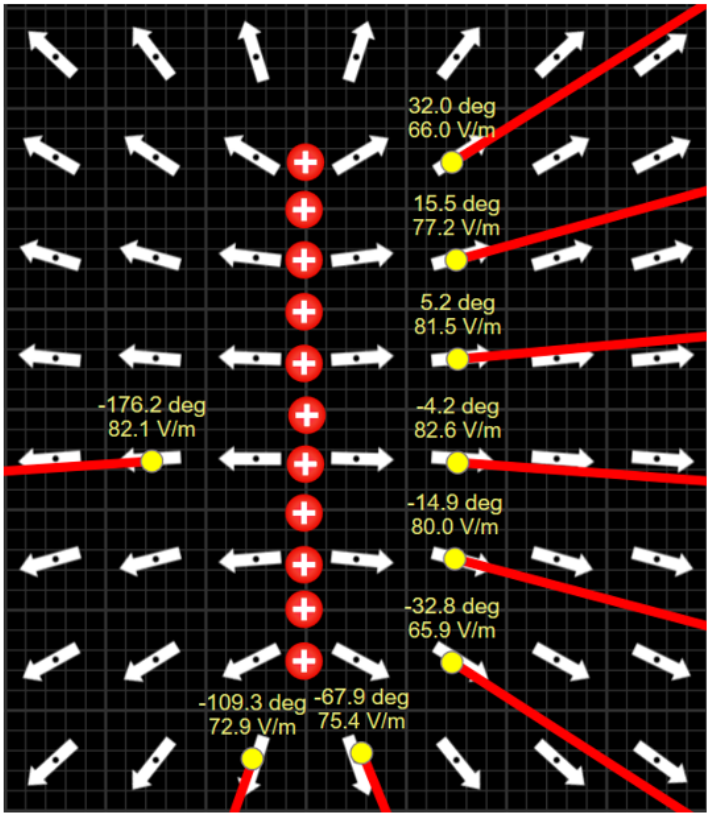
Retrouver environ la valeur du champ $\vec{E}$ en V/m au point B.

5 : Principe de superposition – Exercice 2.



Retrouver environ les valeurs du champ $\vec{E}$ en V/m aux 2 points A et B.

6 : Exemples de champ électrique $\vec{E}$.



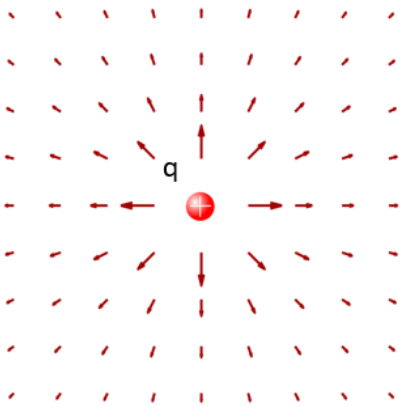
7 : Champ vectoriel et champ scalaire.

Champ vectoriel :

Nous avons vu que le champ électrique $\vec{E}$ est un champ vectoriel.

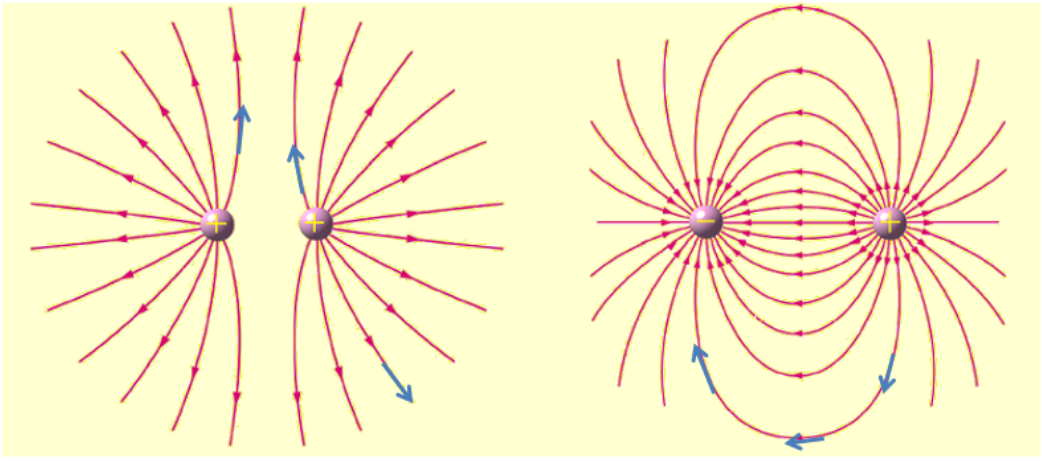
Mais qu'est-ce que cela veut dire ?

Cela veut dire qu'à tout point de l'espace autour de la charge q, nous pouvons déterminer et associer le champ électrique $\vec{E}$, créé par la charge q, qui est une grandeur vectorielle.



7 : Champ vectoriel et champ scalaire.

Champ vectoriel, notion de lignes de champ :



On appelle ligne de champ, toute ligne qui a pour tangente en chacun de ses points le champ électrique $\vec{E}$.

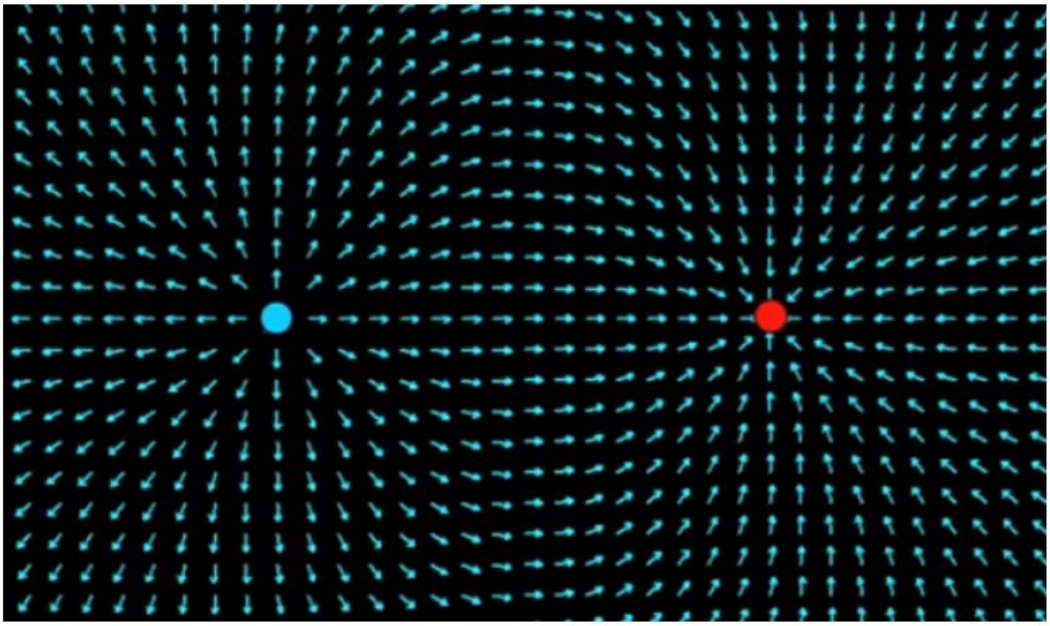
Les lignes de champ ne se coupent jamais.

En électrostatique, elles commencent au niveau d'une charge et se terminent au niveau d'une charge de signe opposée ou à l'infini.

7 : Champ vectoriel et champ scalaire.

Champ vectoriel : Champ électrique $\vec{E}$.

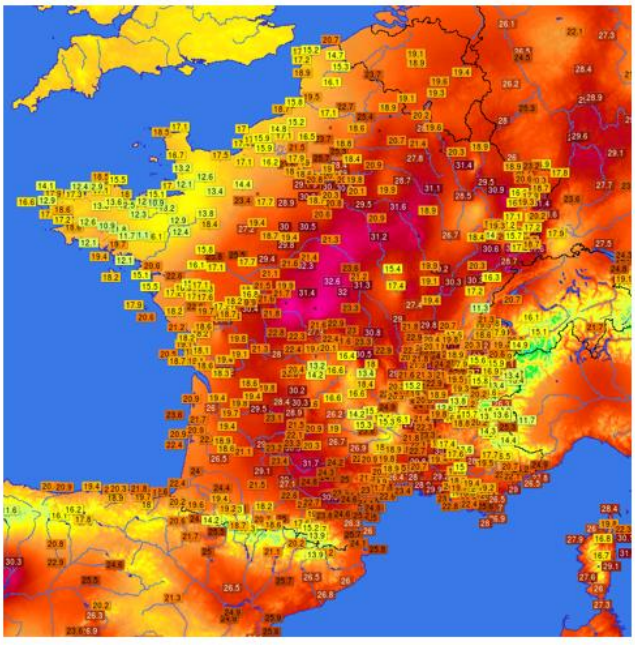
q- ? q+ ?



7 : Champ vectoriel et champ scalaire.

Champ scalaire :

Prenons par exemple la carte des températures en France.



A chaque point de la carte nous pouvons associer une température à un instant t donné.

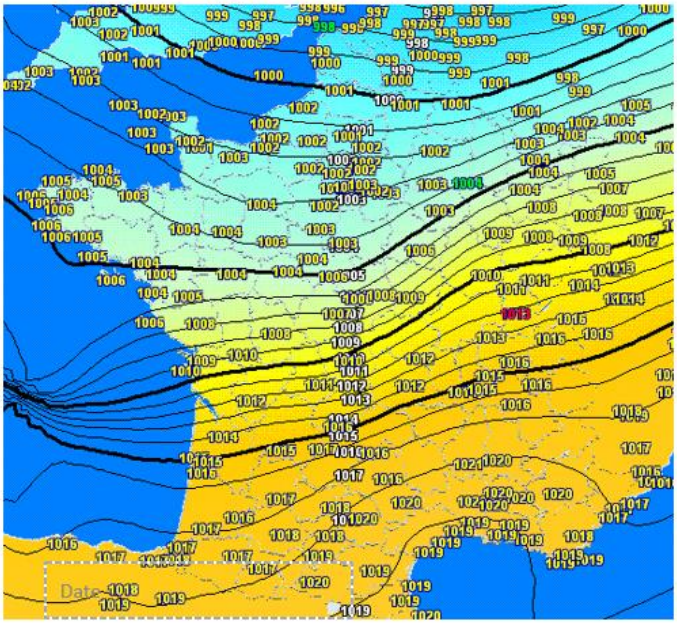
La température n'est pas une grandeur vectorielle.

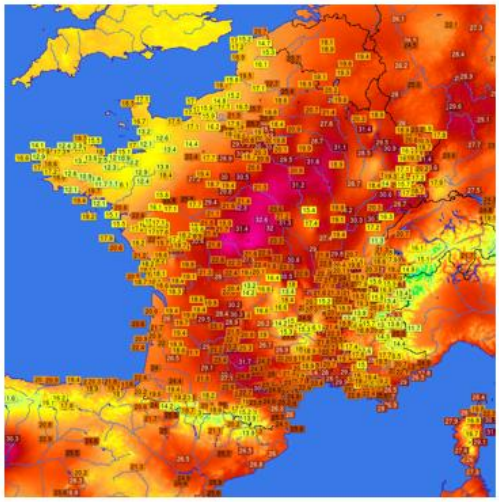
La température est donc un champ scalaire, car à chaque point de la carte on peut associer un nombre scalaire égale à cette température pour la définir complétement.

7 : Champ vectoriel et champ scalaire.

Champ scalaire :

La température et la pression sont ici 2 champs scalaires différents.
Pour le premier à chaque point on associe la température.
Pour le deuxième à chaque point on associe la pression atmosphérique.





Fin de la leçon 2